ชื่อผลงาน ตู้เลี้ยงหนอนแมลงวันลายอัจฉริยะ

1. ชื่อผลงาน ตู้เลี้ยงหนอนแมลงวันลายอัจฉริยะ

2. ชื่อผู้จัดทำ ดร.สุดธิดา สุวรรณยศ **สังกัด** วิทยาลัยนานาชาตินวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3. ที่มาของงานนวัตกรรม/สิ่งประดิษฐ์

แมลงวันลาย (Black soldier fly) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hermetia illucens* จัดอยู่ในวงศ์ Stratiomyidae อันดับ Diptera หนอนแมลงวันลายมีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาเหนือ จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับแมลงวันบ้าน แมลงวันลายมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะที่แตกต่างไปจากแมลงวันทั่วไปคือ แมลงวันลายระยะตัวเต็มวัยไม่บินตอมสร้างความรำคาญ ไม่กัดต่อย ไม่สร้างความเสียหายให้แก่พืชไร่ และไม่ก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์ หนอนแมลงวันลายสามารถกินและย่อยขยะอินทรีย์ได้จำนวนมากถึง 80-90% และใช้เวลารวดเร็วกว่าไส้เดือนดินถึง 5 เท่า โดยขยะอินทรีย์ที่ได้หลังจากการย่อยสลายจะเปลี่ยนสภาพเป็นปุ๋ยที่ใช้สำหรับปรับปรุงบำรุงดินและธาตุอาหารสูงสำหรับพืช นอกจากนี้หนอนแมลงวันลายมีโปรตีนสูงมากถึง 42-56%, ไขมัน 30% อุดมไปด้วยกรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ โอเมก้า 3,6,9 และกรอลอริกที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคต่างๆ เหมาะสำหรับนำไปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจได้หลายประเภท เช่น ไก่ นก ปลา หมู หนู สุกร กิ้งก่า สัตว์เลื้อยคลานและสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ เป็นต้น

ท่ามกลางภาวะประชากรโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ฝ่ายเศรษฐกิจและกิจการสังคมของสหประชาชาติ (UN) ได้คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2593 จะมีประชากรสูงถึง 9.8 พันล้านคน และมีแนวโน้มว่าในอนาคตจะเกิดภาวะวิกฤติทางด้านอาหาร) องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้แนะนำและส่งเสริมให้บริโภคแมลงที่กินได้และสามารถเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณในระดับอุตสาหกรรมขั้นต่ำ 1,000 กก./วัน (van Huis et al., 2013) ส่งผลให้ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้บริโภคแมลงเพื่อเป็นโปรตีนทางเลือก เนื่องจากในตัวของแมลงส่วนใหญ่จะอุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เป็นต้น (Rumpold and Schlüter, 2013; Gasco et al., 2018) ปัจจุบันในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีการนำปลาทะเลมาเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ถึง 15 ล้านตัน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาแพง และใช้ต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูง ในปีพ.ศ. 2560 สหภาพยุโรปจึงได้มีการปรับปรุงกฎหมายเพื่อเพิ่มโอกาสให้ใช้โปรตีนจากแมลงแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มากขึ้น เพื่อลดการใช้วัตถุดิบทางการเกษตรที่พึ่งพาทรัพยากรสูง จากข้อมูลสูตรอาหารสัตว์เศรษฐกิจของกองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าปริมาณโปรตีนจากปลาที่เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมอาหารสำหรับไก่ไข่นั้นต้องมีปริมาณอย่างต่ำ 55% ซึ่งคาดว่าสามารถนำหนอนแมลงวันลายมาทดแทนโปรตีนจากปลาได้เป็นอย่างเหมาะสม ปัจจุบันหนอนแมลงวันลายจึงได้รับความสนใจจากสถาบันวิจัยทั่วโลก มีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับหนอนแมลงวันลายเพื่อนำมาใช้ประโยชน์หลายด้านเช่น 1) เป็นส่วนประกอบในการผลิต

อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ลดต้นทุน 2) หนอนแมลงวันลายถูกนำมาใช้ในด้านนวัตกรรมการจัดการขยะจากพืชและเศษอินทรีย์เพื่อความเป็นมิตรต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่าหนอนแมลงวันลายสามารถจัดการย่อยสลายเศษวัตถุอินทรีย์ปริมาณ 22 ตัน ให้เกิดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ถึง 44 ตัน 3) หนอนแมลงวันลายเป็นวัตถุดิบพลังงานทดแทนในการนำไปผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรในการเผาไหม้ และปล่อยไอเสียระดับต่ำลง เป็นต้น

โดยปกติการเลี้ยงหนอนแมลงวันลายจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการเลี้ยงค่อนข้างมากถึง 150 ตร.ม. และใช้เวลาและแรงงานคนในการดูแลสูงเพื่อปรับสภาพอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการจัดตั้งโครงการตู้เลี้ยงหนอนแมลงวันลายดิจิทัล ซึ่งเป็นโครงการนวัตกรรมด้านสินค้า (Product innovation) ที่มุ่งเน้นถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการเพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลายที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายหลักคือชุมชนในเมืองที่มีพื้นที่ค่อนข้างจำกัดและชุมชนพื้นที่ที่มีการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจ โดยใช้พื้นที่ในการเลี้ยงเพียง 1 ตร.ม. ลงทุนต่ำ ประหยัดเวลาและแรงงานคนโดยเสริมนวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัลและอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of things: IoT) ด้วยระบบปฏิบัติการ Raspberry Pi แพลตฟอร์มอิเลกทรอนิกส์แบบโอเพ่นซอสซึ่งใช้ฮาดแวร์และซอฟแวร์ที่ใช้งานง่าย และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเพาะเลี้ยงหนอนเพื่อเพิ่มปริมาณ เข้ามามีบทบาทในการช่วยเลี้ยงหนอนแมลงวันลายและสามารถตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้นได้แบบทันที real time และสั่งให้อาหาร และเพิ่มแสงได้โดยใช้ระบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่สามารถเลี้ยงหนอนแมลงวันลายได้อย่างมีคุณภาพ ลดเวลา และแรงงานในการดูแล อีกทั้งยังสามารถแก้ไขปัญหาการจัดการขยะอินทรีย์ในชุมชนได้อย่างยั่งยืน

4. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างต้นแบบตู้เลี้ยงแมลงวันลายต้นแบบที่สามารถนำมาใช้งานเพื่อประโยชน์ในการขยายพันธุ์แมลงวันลายและกำจัดขยะอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. ขอบเขตของงาน

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงผลของระบบเซ็นเซอร์ที่สามารถรายงานอุณหภูมิ ความชื้นแบบ real time และมีระบบสั่งการอัตโนมัติเพื่อป้อนคำสั่งให้อาหาร ให้แสง และเพิ่มความชื้นอัตโนมัติ ผ่านแอพพลิเคชั่นทางโทรศัพท์สมาร์ทโฟน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเพื่อเพิ่มปริมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

6. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แมลงวันลายมีวงจรชีวิตแบบสมบูรณ์ (Complete metamorphosis) ประกอบด้วย 4 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย โดยระยะไข่มีสีขาวหรือเหลืองครีมมีลักษณะเป็นวงรีขนาดประมาณ 1 มม. ใช้เวลากลายเป็นตัวหนอนประมาณ 5-7 วัน ระยะตัวหนอนขนาดลำตัวยาวประมาณ 3-26 มม. เป็นระยะที่กินเศษซากอินทรีย์วัตถุเป็นอาหารและจัดอยู่ในกลุ่มกินซากและย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ (Decomposer) จากการศึกษาพบว่าสามารถย่อยสลายมูลสุกรได้ถึง 50% และย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ถึง 80% (Tomberlin and Sheppard, 2001) หนอนสามารถกินพืชผักและผลไม้ได้หลากหลายชนิด (Polyphagous) ระยะหนอนมีอายุประมาณ 25-30 วันจะเริ่มเข้าสู่ระยะดักแด้ ระยะดักแด้ลำตัวสีน้ำตาลเข้มถึงดำผิวลำตัวแข็งใช้ระยะเวลาในการเป็นตัวเต็มวัย 10-60 วัน ระยะตัวเต็มวัยมีขนาดประมาณ 16 มม. ลำตัวสีดำ ตัวเต็มวัยเพศเมียมักวางไข่ใกล้กับแหล่งที่มีเศษซากอินทรีย์วัตถุ วางไข่ประมาณ 555-650 ฟอง/ตัว อายุประมาณ 8-15 วันภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ (Sharanabasappa et al., 2019) แมลงวันลายแพร่กระจายพบได้ทั่วไปในเขตร้อนชื้น และเขตอบอุ่นทั่วโลก จากการศึกษาพบว่าหนอนแมลงวันลายอุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ เช่น โปรตีน (42%), ไขมัน (35%), กรดอะมิโน, กรดไขมัน, โอเมก้า3, โอเมก้า 6, พลังงาน 2,900 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม และธาตุอาหารอื่นๆ เป็นต้น (Hale, 1973; Sheppard et al., 2002) ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการนำหนอนแมลงวันลายมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เช่น อาหารสำหรับไก่ หมู ปลาเทราต์ ปลาแซลมอน กุ้ง (Newton et al., 2005; Cummins et al., 2017) นอกจากนี้ยังใช้หนอนแมลงวันลายเพื่อประโยชน์ทางด้านกีฏนิติวิทยา (Forensic entomology) เพื่อช่วยในการประเมินระยะเวลาหลังการตาย (Pujol-Luz *et al.*, 2008)

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoTs) เข้ามามีบทบาททางด้านเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farmer) มากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการจัดการผลผลิตทางการเกษตรอย่างมีคุณภาพ และช่วยในการลดต้นทุน (Pierce and Nowak, 1999) และเพื่อให้สอดคล้องกัยนโยบาย Thailand 4.0 ที่มุ่งเน้นขับเคลื่อนเศรษฐกิจโดยการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ เพื่อส่งเสริมสร้างผลิตภัณฑ์ด้านอาหารและการเกษตร จากการศึกษาพบว่ามีการนำโปรแกรม IoT เข้ามาใช้ใน smart farmer เช่น การทำ aquaponics ต้นแบบการนำ IoT สร้างสมดุลธรรมชาติระหว่างพืชและปลา โดยใช้หลักการผสมผสานเทคโนโลยีในรูปแบบเดียวกับแนวทางและหลักการของระบบการปลูกพืชไร้ดิน ไฮโดรโปนิกส์ hydroponics โดยใช้ของเสียจากปลาที่ผสมอยู่ในน้ำ มาหมุนเวียนใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ต่างๆ เพื่อเปลี่ยนของเสียให้เป็นธาตุอาหารที่พืชน้ำต้องการ (Yep B. , Zheng Y., 2019) โดยในการเชื่อมต่อนั้นจะทำผ่านระบบ IoT Could บริการจัดเก็บข้อมูล รวมถึงการดูแลและการสั่งการต่างๆ ภายในระบบอีกที ทั้งนี้ในการทำงานส่วนใหญ่จะมีศูนย์ควบคุมหลัก คือ Raspberry Pi เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดย Raspberry Pi นั้นจะมี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้ เช่น สั่งงานให้ Relay ทำงานตามเวลาที่กำหนด หรือสั่งปิด-เปิด อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ได้ตามเวลาที่ต้องการ เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาและหาแนวทางการประยุกต์ใช้ IoT กับกระบวนการเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย เพื่อศึกษาผลของระบบเซ็นเซอร์ที่สามารถรายงานอุณหภูมิ ความชื้นแบบ real time และมีระบบสั่งการอัตโนมัติเพื่อป้อนคำสั่งให้อาหาร ให้แสง และเพิ่มความชื้นอัตโนมัติ ผ่านแอพพลิเคชั่นทางโทรศัพท์สมาร์ทโฟน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเพื่อเพิ่มปริมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

7. วิธีการดำเนินงาน

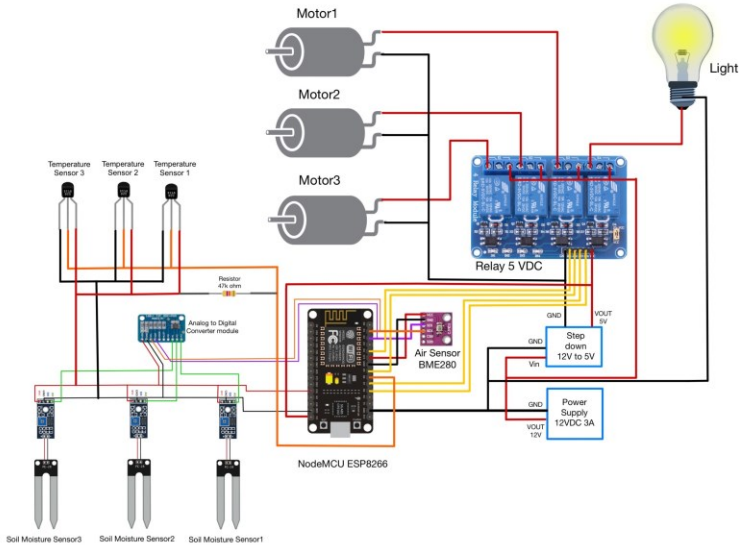
1) วางแผนการออกแบบ prototype โดยสืบค้นข้อมูลและรวบรวมเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับระบบ IoTs เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานและประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดและประมวลผลข้อมูลการตรวจวัด รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านการรับและการส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์ในการติดตามและวิเคราะห์ผลข้อมูล และสรุปเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoTs ที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

2) จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และเซ็นเซอร์ ที่เหมาะสมสำหรับใช้ติดตั้งในตู้เลี้ยงแมลงวันลาย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น

3) ติดตั้งระบบที่ออกแบบไว้ ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์และเซนเซอร์ IoT โปรแกรม Raspberry Pi ในตู้เลี้ยงแมลงวันลายขนาด 69×49×125 ซม. เพื่อใช้ในการการควบคุมอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ให้แสงสว่างรวมถึงระบบสั่งการให้อาหาร และเพิ่มความชื้นอัตโนมัติผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน หลังจากนั้นทำการทดสอบระบบ ประกอบด้วย ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัด ความเสถียรของสัญญาณที่ใช้รับ-ส่งข้อมูล และการวิเคราะห์ผลข้อมูลต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมที่ออกแบบไว้ เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องก่อนการใช้งานจริง

8. ผลการดำเนินงาน/ผลการใช้นวัตกรรม (พร้อมภาพประกอบนวัตกรรม – ถ้ามี)

1) วงจรไฟฟ้าและหลักการทำงานของระบบตู้เลี้ยงหนอนอัจฉริยะ



ภาพที่ 1 แสดงวงจรไฟฟ้าของตู้เลี้ยงหนอนอัจฉริยะ

2) องค์ประกอบของระบบ

- ส่วนรับส่งข้อมูลและประมวลผล

  Arduino Node MCU ESP8266

  - ESP8266 คือบรอดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ DC ต่าง ๆ ทำหน้าที่ส่งหรือรับข้อมูลจากเซนเซอร์และคำนวนประมวลผล รวมไปถึงสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต WiFi เพื่อติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่าง Client และ Sever เพื่อนำค่าที่อ่านได้ไปบันทึกยัง Database

- Sensor

  BME280

  - เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ในอากาศ

  Soil Moisture module

  - โมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นในอาหาร ให้เอาต์พุตของเซ็นเซอร์เป็น Analog และ Digital ป้อนให้กับวงจร Arduino
  - ADS1115 โมดูลขยาย Port เชื่อมต่อ Analog 1 to 4 แปลงสัญญาน Analog เป็น Digital

  BS18B20 Temperature sensor

  - เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในอาหาร

- ส่วนของการควบคุม

    Motor 12 VDC

    - คือมอเตอร์เกียร์ที่มีการทดรอบแรงบิด ทำหน้าที่เป็นตัวฟีดอาหารประเภทผงที่มีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม

    Relay 5V module

    - โมดูล Relay สำหรับตัดต่อไฟฟ้าเพื่อเปิด-ปิด การทำงานของมอเตอร์เครื่องให้อาหารและหลอดไฟ

- ส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

    Power Supply

    - ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 VAC ไปเป็น 12 VDC 3A เพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้า DC ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบทั้งหมด

    Step down module

    - โมดูลลดแรงดันไฟฟ้า DC จาก 12V เป็น 5V เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับบรอด ESP8266 และ Relay

Application Programming Interface (API)

- Node red

    เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เราทำงานแบบ Flow-based programming ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถทำงานให้เครื่องมือ IoT (Internet of Things) ทำงานได้ตามที่เราต้องการได้ง่ายโดยทำผ่านเว็บเบราวเซอร์

- หน้าที่ของ MQTT Protocol

    Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็น Protocol ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คือ อุปกรณ์ติดต่อหรือสื่อสารกับอุปกรณ์ โดยเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับเครื่องให้อาหารหรือเซ็นเซอร์ต่างๆของระบบตู้เลี้ยงหนอน IoT เข้ากับอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ IoTs จากที่อื่นได้ เช่นการสั่งปิดเปิดไฟหรือควบคุมการจ่ายอาหารผ่านโทรศัพท์มือถือได้

- ฟังก์ชันหน้าต่างควบคุมบน Node red

- Grafana

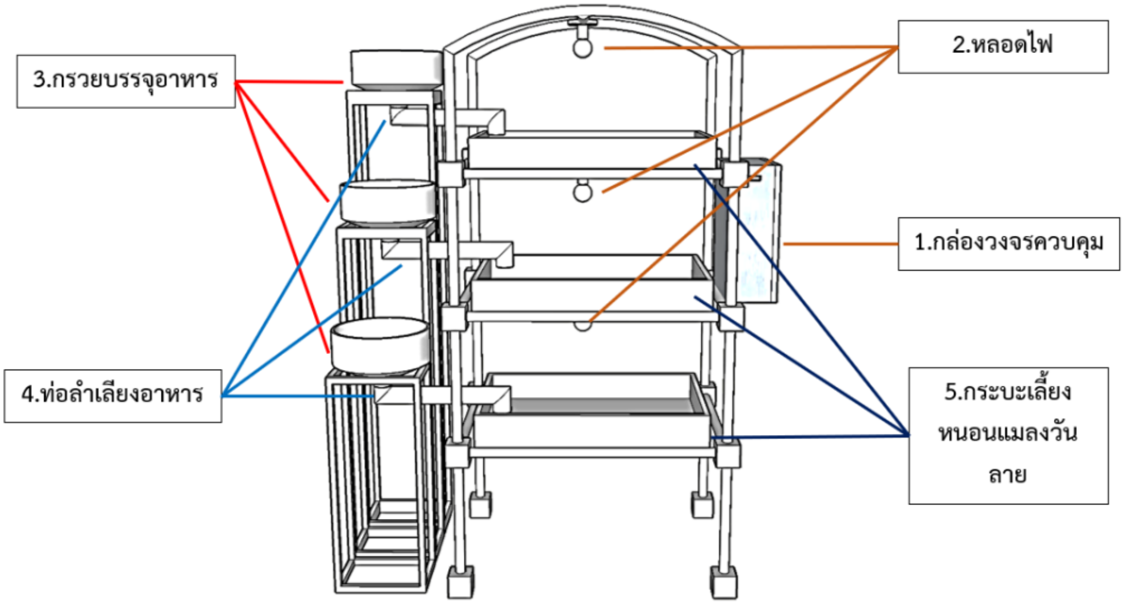
Grafana จะทำงานร่วมกับ InfluxDB ช่วยให้ users สามารถสร้างและแก้ไข Dashboard ได้ครอบคลุมรูปแบบกราฟหลายประเภท

ภาพที่ 2 หน้าจอ (Dashboard) แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ในถาดเลี้ยงแต่ละอัน

ฐานข้อมูล (Database)

- สำหรับการเก็บข้อมูลของ Sensor วัดค่าต่างๆ บนระบบตู้เลี้ยงหนอน IoT จะถูกไปถึงไปยังฐานข้อมูลที่ชื่อว่า InfluxDB มีการเก็บข้อมูลแบบ TimeSeries Database ซึ่งเป็น Open-source อยู่บน TICK Stack ซึ่งออกแบบมาให้จัดการกับการอ่าน/เขียนข้อมูลที่หนักหน่วง และมี InfluxQL ที่ใช้ในการดึงข้อมูลที่คล้ายกับ SQL

ขนาดตู้เลี้ยง 49×58×120 ซม.



ภาพที่ 3 โครงสร้างตู้เลี้ยงหนอนแมลงวันลาย

9. วิเคราะห์และสรุปสาระสำคัญ

9.1) ผลิตผล (Output)

โครงการได้มีการออกแบบสร้างโมเดลตู้เลี้ยงหนอนแมลงวันลาย รวมทั้งโครงสร้างไดอะแกรมระบบอินเตอร์เนตแห่งสรรพสิ่ง (IoTs) ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์และสั่งการอัตโนมัติผ่านแอบพลิเคชั่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเพื่อเพิ่มปริมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

9.2) ผลลัพธ์ (Outcome)

ได้ต้นแบบ (Prototype) ตู้เพาะเลี้ยงหนอนแมลงวันลายที่สามารถสั่งการอัตโนมัติผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน โดยตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ให้แสงสว่างรวมถึงระบบสั่งการให้อาหาร และเพิ่มความชื้นอัตโนมัติผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนอย่างมีประสิทธิภาพ

10. ผลกระทบที่เป็นประโยชน์และสร้างคุณค่า

1) สามารถต่อยอดและนำต้นแบบตู้เลี้ยงหนอนอัตโนมัติการมาประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงแมลงชนิดอื่นในห้องปฏิบัติการ หรือนอกห้องปฏิบัติการ

2) สามารถเลี้ยงหนอนแมลงวันลายเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการย่อยสลายเศษอาหารในครัวเรือนเพื่อลดขยะในชุมชน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านระบบตู้เลี้ยงหนอนอัตโนมัติ

11. เอกสารอ้างอิง

1. Bondari, K., and Sheppard, DC. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. Aquaculture, 24, 103-109.

2. Chia SY, Tanga CM, Osuga IM, Cheseto X, Ekesi S, Dicke, van Loon JJ. 2020. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 168: 472–481.

3. Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S. & Dalle Zotte, A. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcassand meat traits. Animal 10: 1923–1930. https://doi.org/10.1017/S1751731116001270

4. Cummins V C, Rawles S D, Thompson K R, Webster C D. 2017. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 473: 337-344

5. Gasco, L.; Finke, M.; van Huis, A. 2018. Can diets containing insects promote animal health? *J. Insects Food Feed 4*, 1–4.

6. Hale O M. 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as feed additive for poultry. Journal of Georgia Entomology 8: 16-20.

7. van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A et al. (2013) Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. FAO Forestry Paper No. 171, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

8. Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M. E., Russo, F., Gasco L., Parisi S., Picolo G., Nizza S., Di meo C., Attia A., Bovera F. 2017. Productive performance and blood profiles of laying hens fed Hermetia illucens larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. Poultry science. 96(6): 1783-1790.

9. Newton, L., Sheppard, DC., Watson, DW., Burtle, G., and Dove, R. 2005. Using of black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. The animal and poultry waste management center. North Carolina University.

10. Pierce FJ., Nowak P. 1999. Aspects of precision agriculture.
11. Pujol-Luz, JR., Francez, PA., Ururahy-Rodrigues, A., and Constantine, R. 2008. The black soldier-fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) used to estimate the postmortem interval in a case in Amapa State, Brazil. J. Forensic Sci., 53(2), 476-478.
12. Rumpold, B.A.; Schlüter, O.K. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2013, *17*, 1–11.
13. Schiavone A, Cullere M, de Marco M, M., Meneguz M, Biasato, I, Bergagna S, Dezzutto D, Gai F, Dabbou S, Gasco L, Zotte AD. 2017. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*. 16(1): 93-100.
14. Sharanabasappa D., Srikanth BH., Maruthi MS, Pavithra HB. 2019. Biology of black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) on muskmelon fruit. *Indian Journal of Entomology,* 81(1): 153-155.
15. Sheppard, DC., Tomberlin, JK., Joyce, JA., Kiser, BC., and Sumner, SM. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). J. Med. Entomol., 39(4), 695-698.
16. Tomberlin, J.K., and Sheppard, D.C.. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Florida Entomologist 84(4): 729-730.
17. Yep B., Zheng Y., 2019. Aquaponic trends and challenges e A review. Journal of Cleaner Production 228;1586-1599

12. คำสืบค้น (ไม่เกิน 6 คำสืบค้น) แมลงวันลาย ตู้เลี้ยงหนอนอัตโนมัติ การจัดการขยะอินทรีย์